(19)日本国特許庁(JP)　(12)特許公報(B2)　(11)特許番号
特許第3691434号
(P3691434)
(45)発行日 平成17年9月7日(2005.9.7)　(24)登録日 平成17年6月24日(2005.6.24)

(51)Int.Cl.^{7}　FI
B25J 5/00　B25J 5/00 C

請求項の数 16 (全 29 頁)

(21)出願番号 特願2001-392787(P2001-392787)
(22)出願日 平成13年12月25日(2001.12.25)
(65)公開番号 特開2003-191181(P2003-191181A)
(43)公開日 平成15年7月8日(2003.7.8)
審査請求日 平成15年11月28日(2003.11.28)

(73)特許権者 000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目1番1号
(74)代理人 100077805
弁理士 佐藤 辰彦
(74)代理人 100077665
弁理士 千葉 剛宏
(72)発明者 竹中 透
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内
(72)発明者 五味 洋
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける前記各脚体の足平機構の底面に設けられ、膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、

前記足平機構の底面において該可変容積体の周囲に配置され、弾性を有する接地部材と、

各脚体の離床状態で該可変容積体を該接地部材よりも突出するように膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記各脚体の着床動作の際に生じる床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、

該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に流出抵抗を発生させる手段とを備えていることを特徴とする脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。

【請求項2】

前記可変容積体が、その膨張方向への復元力を有するように弾性材を用いて構成されていることを特徴とする請求項1記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。

【請求項3】

前記可変容積体が、複数設けられていることを特徴とする請求項1又は2記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。

【請求項4】

前記可変容積体の内部には、該可変容積体と共に膨縮可能な多孔質体が収容されていることを特徴とする請求項１、２又は３記載の着床衝撃緩衝装置。
【請求項５】
前記流入・流出手段が前記可変容積体からの圧縮性流体の流出抵抗よりも該可変容積体への圧縮性流体の流入抵抗を小さくすることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項６】
前記流入・流出手段が前記可変容積体内の圧力を所定の上限圧力以下に制限する上限圧力制限手段を備えていることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項７】
前記上限圧力制限手段が前記上限圧力を可変的に調整することを特徴とする請求項6記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項８】
前記流入・流出手段が前記可変容積体からの圧縮性流体の流出抵抗を可変的に調整することを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項９】
足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける各脚体の着床動作の際に床反力を受けて圧縮されるとともに少なくとも該脚体の離床動作により該床反力を受けなくなったときには膨張し得るように該脚体の足平機構に設けられ、その膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、
各脚体の離床状態で該可変容積体を膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、
該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に流出抵抗を発生させる手段とを備え、
前記流入・流出手段が、前記ロボットの移動形態に応じて前記可変容積体内の上限圧力を可変的に調整するとともに、前記可変容積体内の圧力を該調整された上限圧力以下に制限する上限圧力制限手段を備えていることを特徴とする脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１０】
前記上限圧力制限手段が、前記ロボットの移動形態としての移動速度が速いほど高くなるように、前記可変容積体内の上限圧力を調整するとともに、前記可変容積体内の圧力を該調整された上限圧力以下に制限することを特徴とする請求項9記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１１】
足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける各脚体の着床動作の際に床反力を受けて圧縮されるとともに少なくとも該脚体の離床動作により該床反力を受けなくなったときには膨張し得るように該脚体の足平機構に設けられ、その膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、
各脚体の離床状態で該可変容積体を膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、
該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に、前記ロボットの移動形態に応じて流出抵抗を可変的に調整して発生させる手段とを備えていることを特徴とする脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１２】

前記流出抵抗を可変的に調整して発生させる手段が、前記ロボットの移動形態としての移動速度が速いほど大きくなるように、前記流出抵抗を可変的に調整して発生させることを特徴とする請求項１１記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１３】
前記流入・流出手段が、前記可変容積体からの圧縮性流体の流出と該可変容積体への圧縮性流体の流入とを、該可変容積体に連通する共通の流通路を介して行うことを特徴とする請求項１～１２のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１４】
前記流入・流出手段が、前記可変容積体の膨張状態での該可変容積体内の圧力を大気圧よりも大きくする手段を備えていることを特徴とする請求項１～１３のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１５】
前記可変容積体の膨張状態での容積を所定の上限容積以下に制限する手段を備えていることを特徴とする請求項１４記載の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置。
【請求項１６】
前記圧縮性流体が空気であり、前記流入・流出手段が、前記可変容積体の圧縮時に該可変容積体内の空気を大気中に流出させると共に前記可変容積体の膨張時に大気中の空気を前記可変容積体内に流入させる手段を備えていることを特徴とする請求項１～１５のいずれか１項に記載の着床衝撃緩衝装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、脚式移動ロボットの脚体の着床動作時の衝撃荷重を軽減するための着床衝撃緩衝装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
二足移動ロボット等、複数の脚体を備えた脚式移動ロボットでは、各脚体はその先端部に設けられた足平機構の接地面部を介して床に接地される。ここで、該足平機構は、より詳しくは、各脚体の最も先端側の関節（足首関節）に連結された機構である。そして、脚式移動ロボットは、各脚体の離床・着床動作により移動する。該離床・着床動作は、より詳しく言えば、複数の脚体のうちの少なくとも一つの脚体を支持脚として、該支持脚の足平機構を接地状態に維持する一方、他の脚体を遊脚として、該遊脚の足平機構をその接地箇所から空中に持ち上げて移動させ、他の接地箇所に接地させるという動作の繰り返しである。
【０００３】
この種の脚式移動ロボットでは、各脚体の着床動作によって、該脚体の足平機構の接地面部を接地させた時に、該脚体の足平機構を介して瞬間的に比較的大きな衝撃荷重（過渡的な床反力）が作用する。特に、脚式移動ロボットを比較的速い移動速度で移動させるような場合には、脚体の足平機構が接地する直前における脚体の運動エネルギーが大きいために、前記衝撃荷重が大きなものとなる。そして、この衝撃荷重が大きいと、それに耐え得るように各脚体の各部の剛性を高める必要が生じ、ひいては、各脚体の小型化や軽量化の妨げとなる。このため、このような衝撃荷重を軽減（緩衝）することが望まれる。
【０００４】
このような衝撃緩衝装置としては、例えば本願出願人が特開平５－３０５５７８号公報に提案したものが知られている。この衝撃緩衝装置では、足平機構の踵部に作動油が充填されたシリンダを備え、このシリンダ内を摺動可能なピストンから足平機構の踵部の底面側に向かってロッドが延設されている。そして、該ロッドの先端部にはきのこ状に拡径してなる接地体が設けられている。また、ピストンは、その上側でシリンダ内に収容されたスプリングにより、前記接地体が足平機構の底面側に突出する方向に付勢されている。さらに、該ピストンには、その上側の室と下側の室との間での作動油の流通を可能とする流通

路が穿設されている。

【０００５】

このように構成された衝撃緩衝装置では、脚体の着床動作の際に、前記接地体が接地し、ピストンと共に前記スプリングの付勢力と逆方向に押圧される。このとき、シリンダ内の作動油がピストンの流通路を介して流通しつつ、ピストンがスプリングを圧縮する方向に摺動し、これにより、脚体の着床動作時の衝撃荷重が軽減される。

【０００６】

しかしながら、かかる衝撃緩衝装置では、作動油を用いているため、特に、ロボットの移動速度が速い場合には、前記接地体が接地した瞬間に作動油の圧力が急増する。このため、該接地体の接地の瞬間には比較的大きな衝撃荷重が発生しやすい。この場合、ピストンの流通路の開口面積を大きめにすれば、前記接地体の接地の瞬間における作動油の圧力の急増を抑制することは可能である。しかるに、このようにした場合には、作動油の流通によるダンピング効果（運動エネルギーの減衰効果）が低下して、足平機構の着床動作直後の床反力の振動が生じ易く、ロボットの姿勢が不安定になりやすい。

【０００７】

さらに前記衝撃緩衝装置では、作動油を用いているために、緩衝装置の重量が大きいものとなり、ロボットの軽量化の妨げとなる。また、脚体の着床動作の際に接地する接地体は、ピストンの摺動方向（シリンダの軸心方向）にしか移動できないと共に固体状のものであるため、床の形状によっては該接地体にその可動方向と交差する方向に衝撃荷重が作用して、該衝撃荷重を十分に軽減できなかったり、衝撃緩衝装置の損傷を生じる虞れがある。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、脚式移動ロボットの脚体の着床動作時の衝撃荷重を軽量な構成で円滑に軽減することができる着床衝撃緩衝装置を提供することを目的とする。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための本発明の第１態様の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置は、足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける前記各脚体の足平機構の底面に設けられ、膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、前記足平機構の底面において該可変容積体の周囲に配置され、弾性を有する接地部材と、各脚体の離床状態で該可変容積体を該接地部材よりも突出するように膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記各脚体の着床動作の際に生じる床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に流出抵抗を発生させる手段とを備えていることを特徴とする。

【００１０】

尚、本発明において、各脚体の着床動作は、該脚体の足平機構の接地面部が床から離反した状態から、該足平機構を下降させてその接地面部を床に接地させる動作を意味し、各脚体の離床動作は、該脚体の足平機構の接地面部を床に接地させた状態から、該足平機構を空中に持ち上げてその接地面部を床から離反させる動作を意味する。また、各脚体もしくは足平機構の離床状態は、該脚体の足平機構の接地面部の全体を床から離反させた状態を意味する。さらに、各脚体もしくは足平機構の着床状態は、該脚体の足平機構の接地面部の全部もしくは一部を床に接地させた状態を意味する。

【００１１】

かかる本発明によれば、各脚体の着床動作の際に、膨張状態の可変容積体がその内部の圧縮性流体と共に圧縮され、該圧縮性流体の圧力が上昇する。このとき、可変容積体内の加圧された圧縮性流体が前記流入・流出手段によって該可変容積体内から流出抵抗を伴って流出する。これにより脚体の運動エネルギーが減衰する。また、この場合、圧縮性流体の

ばね性によって、脚体の運動エネルギーの一部が該空気の弾性エネルギーに変換されて吸収され、さらにその弾性エネルギーが、可変容積体からの圧縮性流体の流出抵抗によって消散する。このような作動により、可変容積体及びその内部の圧縮性流体を介して脚体に作用する床反力の瞬時的な急変が生じるのを回避しつつ、脚体の着床動作の際に該脚体に作用する衝撃荷重（過渡的な床反力）が軽減される。従って、本発明によれば、脚体の着床時の衝撃荷重を円滑に軽減し、良好な緩衝効果を得ることができる。尚、前記圧縮性流体としては、空気等の気体や、気泡を含有する液体もしくはゲル等が挙げられる。この場合、特に、圧縮性流体として気体を用いた場合には、該圧縮性流体が軽量なものとなり、ひいては本発明の着床衝撃緩衝装置を軽量なものとすることができる。

【００１２】

かかる本発明では、前記可変容積体は、各脚体の着床動作の際に該脚体の足平機構の接地面部に先行して接地するように該脚体の足平機構の底面側に設けたり、あるいは、足平機構の接地面部と、足平機構が連結された関節（足首関節）との間に介装したりすることが可能である。

【００１３】

そして、特に、可変容積体を、脚体の足平機構の底面側に設けた場合には、該可変容積体は変形自在な袋状部材により構成されていることが好適である。すなわち、前記袋状部材は、各脚体の着床動作の際に、該脚体の足平機構の接地面部に先行して接地し、圧縮される。このとき、該袋状部材は、床の表面形状に沿うようにして変形できるため、該袋状部材が接地し得る限り、床の形状等によらずに本発明の着床衝撃緩衝装置の緩衝機能を発揮できる。従って、脚体の着床時の衝撃荷重の軽減効果の確実性を高めることができる。また、袋状部材は、その変形の自由度が高いことから、各脚体の着床動作の際に該袋状部材に種々様々な方向から床反力が作用しても、該袋状部材が破損するような事態を回避できる。

【００１４】

また、本発明の第１態様の着床衝撃緩衝装置は、前記可変容積体が、その膨張方向への復元力を有するように弾性材を用いて構成されていることを特徴とする。すなわち、可変容積体自身がその膨張方向への復元力を持たない場合には、該袋状部材を各脚体の着床動作前に膨張させておくためには、流体供給装置により積極的に該可変容積体内に圧縮性流体を供給したり、あるいは、可変容積体とは別のばね等により該可変容積体を膨張方向に付勢する必要があるため、着床衝撃緩衝装置の構成要素が多くなりやすい。これに対して、可変容積体自身が膨張方向への復元力を有する場合には、該可変容積体がその復元力により膨張しながら外部の圧縮性流体を吸入することが可能となるため、着床衝撃緩衝装置の構成要素を少なくして、その構成を簡略なものとすることができる。特に、前記圧縮性流体として例えば空気を用い、可変容積体に対する空気の入出を大気中との間で行うようにした場合には、可変容積体に供給する圧縮性流体を貯蔵するタンク等も不要になる。

【００１５】

さらに、本発明の第１態様の着床衝撃緩衝装置は、前記可変容積体が、複数設けられていることを特徴とする。これによれば、脚体の着床動作の際に、床の形状等によらずに、少なくとも一つの袋を床に接地させて、衝撃荷重を軽減することができる。また、特に、脚体に作用する床反力を６軸力センサ等により検出し、水平方向の軸回りの検出モーメントを所定の目標モーメントに追従させるように足平機構の位置及び姿勢を制御する（足平機構の位置及び姿勢の所謂コンプライアンス制御を行う）ことにより、ロボットの姿勢の安定性を確保するような場合には、複数の可変容積体のいずれかの接地により、水平方向の軸回りのモーメントを足平機構に作用させることができる。このため、上記のコンプライアンス制御によって、ロボットの姿勢の安定化を効果的に確保することができ、脚体に作用する床反力を早期に定常化できる。

【００１６】

また、本発明の第１態様の着床衝撃緩衝装置は、前記可変容積体の内部には、該可変容積体と共に膨縮可能な多孔質体（例えば、スポンジ）が収容されていることを特徴とする。

これによれば、可変容積体の圧縮時に、多孔質体の孔内に侵入している圧縮性流体が該孔の外部に流出する際に流出抵抗を生じるため、前記流入・流出手段による可変容積体内の圧縮性流体の流出抵抗と相まって、着床衝撃緩衝装置のダンピング効果を高めることができる。

【００１７】

さらに本発明の第1態様の着床衝撃緩衝装置は、前記流入・流出手段が前記可変容積体からの圧縮性流体の流出抵抗よりも該可変容積体への圧縮性流体の流入抵抗を小さくすることを特徴とする。すなわち、可変容積体への圧縮性流体の流入抵抗を小さくすることで、可変容積体に速やかに圧縮性流体を流入させて該可変容積体を短時間で膨張させることができるため、各脚体の着床前に可変容積体の膨張が不十分となるような事態を防止することができ、ひいては、着床動作時の衝撃荷重を適正に軽減することができる。さらに、流入抵抗を小さくすることで、可変容積体を膨張させる際のエネルギー損失を低減し、発熱を抑えることができる。また、流出抵抗を大きめにすることで、着床衝撃緩衝装置のダンピング効果（運動エネルギーの減衰効果）を高めることができ、脚体に作用する床反力を早期に定常化できる。

【００１８】

また、本発明の第1態様の着床衝撃緩衝装置は、前記流入・流出手段が前記可変容積体内の圧力を所定の上限圧力以下に制限する上限圧力制限手段を備えていることを特徴とする。これによれば、各脚体の着床動作の際の可変容積体の圧縮時に、該可変容積体内の圧力が瞬時的に過剰に高い圧力となって、該脚体に可変容積体内の圧縮性流体から却って大きな力が作用するような事態を防止できる。さらに、可変容積体内の圧力の上限を制限することにより、可変容積体が過大な圧力により、損傷してしまうような事態も防止できる。尚、前記上限圧力制限手段は、例えば、可変容積体に接続したリリーフ弁により構成することができる。

【００１９】

さらに本発明の第1態様の着床衝撃緩衝装置は、前記上限圧力制限手段が前記上限圧力を可変的に調整することを特徴とする。これによれば、ロボットの移動形態等に応じて、脚体の着床動作の際における可変容積体内の圧縮性流体の圧力の上限を調整することが可能となり、ロボットの移動形態等に合わせた緩衝効果をもたせることが可能となる。尚、一般に、ロボットの移動速度が速いほど、各脚体の着床時の衝撃荷重が大きくなりやすいので、その衝撃荷重を効果的に軽減するためには、ロボットの移動速度が速いほど、前記上限圧力を高くするように該上限圧力を調整することが好ましい。そこで、前記課題を解決するための本発明の第2態様の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置は、足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける各脚体の着床動作の際に床反力を受けて圧縮されるとともに少なくとも該脚体の離床動作により該床反力を受けなくなったときには膨張し得るように該脚体の足平機構に設けられ、その膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、各脚体の離床状態で該可変容積体を膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に流出抵抗を発生させる手段とを備え、前記流入・流出手段が、前記ロボットの移動形態に応じて前記可変容積体内の上限圧力を可変的に調整するとともに、前記可変容積体内の圧力を該調節された上限圧力以下に制限する上限圧力制限手段を備えていることを特徴とする。また、本発明の第2態様の着床衝撃緩衝装置は、前記上限圧力制限手段が、前記ロボットの移動形態としての移動速度が速いほど高くなるように、前記可変容積体内の上限圧力を調整するとともに、前記可変容積体内の圧力を該調節された上限圧力以下に制限することを特徴とする。

【００２０】

さらに本発明の第1態様の着床衝撃緩衝装置は、前記流入・流出手段は前記可変容積体からの圧縮性流体の流出抵抗を可変的に調整することを特徴とする。これによれば、ロボッ

トの移動形態等に応じて、脚体の着床動作の際における可変容積体内の圧縮性流体の圧力の変化の特性を調整することが可能となる。尚、一般に、ロボットの移動速度が速いほど、各脚体の着床時の衝撃荷重が大きくなりやすいので、その衝撃荷重を効果的に軽減するためには、ロボットの移動速度が速いほど、前記流出抵抗を大きくすることが好ましい。また、流出抵抗の調整は、可変容積体から圧縮性流体を流出させる通路に電磁比例弁等の可変絞り弁を設けることで、行うことが可能である。そこで、前記課題を解決するための本発明の第３態様の脚式移動ロボットの着床衝撃緩衝装置は、足平機構の接地面部を介してそれぞれ接地可能な複数の脚体の離床・着床動作により移動する脚式移動ロボットにおける各脚体の着床動作の際に床反力を受けて圧縮されるとともに少なくとも該脚体の離床動作により該床反力を受けなくなったときには膨張し得るように該脚体の足平機構に設けられ、その膨縮に伴い内部に圧縮性流体を入出可能な可変容積体と、各脚体の離床状態で該可変容積体を膨張させつつ該可変容積体に圧縮性流体を流入させるとともに前記床反力による該可変容積体の圧縮に伴い該可変容積体から圧縮性流体を流出させる流入・流出手段と、該流入・流出手段による前記可変容積体内の圧縮性流体の流出の際に、前記ロボットの移動形態に応じて流出抵抗を可変的に調整して発生させる手段とを備えていることを特徴とする。また、本発明の第３態様の着床衝撃緩衝装置は、前記流出抵抗を可変的に調整して発生させる手段が、前記ロボットの移動形態としての移動速度が速いほど大きくなるように、前記流出抵抗を可変的に調整して発生させることを特徴とする。

【００２１】

また、本発明では、前記流入・流出手段は前記可変容積体からの圧縮性流体の流出と該可変容積体への圧縮性流体の流入とを、各別の独立した流通路を介して行うようにしてもよいが、前記可変容積体に連通する共通の流通路を介して行うことが好適である。これによれば、流入・流出手段の構成を簡略なものにすることができる。尚、前記圧縮性流体を可変容積体に流入させる流通路と、可変容積体から流出させる流通路とはその全部が共通でなくともよく、一部が共通のものであってもよい。また、それらの流通路には、必要に応じて逆止弁等の弁が設けられていてもよい。

【００２２】

また、本発明では、前記圧縮性流体は気体であり、前記流入・流出手段は、前記可変容積体の膨張状態での該可変容積体内の圧力を大気圧よりも大きくする手段を備えていることが好ましい。これによれば、各脚体の着床動作の際に可変容積体内の圧縮性流体の圧力が高圧なものとなって、圧縮性流体の流出抵抗を高めることができるため、本発明の衝撃緩衝装置のダンピング効果を高めることができる。また、例えば可変容積体自身が膨張方向への復元力を持たない場合や、該可変容積体を膨張方向に付勢するスプリング等の手段を備えない場合であっても、該可変容積体への圧縮性流体の流入により該可変容積体を膨張させることができる。

【００２３】

このように、膨張状態での可変容積体内の圧力を大気圧よりも大きくするようにしたときには、前記可変容積体の容積を所定の上限容積以下に制限する手段を備えることが好適である。これによれば、該可変容積体が前記上限容積まで膨張した状態において、該可変容積体内の圧力と大気圧との圧力差によって、該可変容積体に予圧が与えられることとなる。このため、各脚体の着床動作の際に、可変容積体内の圧力の上昇が迅速になり、その結果、該着床時の衝撃荷重のピークを低く抑えることが可能となる。従って、該衝撃荷重の軽減効果を高めることができる。

【００２４】

また、本発明では、前記圧縮性流体を空気とし、前記流入・流出手段は、前記可変容積体の圧縮時に該可変容積体内の空気を大気中に流出させると共に前記可変容積体の膨張時に大気中の空気を前記可変容積体内に流入させる手段を備えていることが好ましい。これによれば、圧縮性流体を貯蔵するタンク等が不要となると共に、可変容積体からの空気の流入時や流出時に、その流入抵抗や流出抵抗によって生じる熱を大気中に逃がすことができる。その結果、可変容積体やその内部の空気に熱が蓄積するような事態を防止することが

できる。ひいては、着床衝撃緩衝装置のダンピング特性等を安定化することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】

本発明の第1実施形態を図1～図5を参照して説明する。図1は本実施形態の脚式移動ロボット1の全体の基本構成を模式化して示す側面図である。同図示のように、本実施形態の脚式移動ロボット1は、例えば、その上体2（胴体）の下端部から延設された左右一対（2本）の脚体3，3を備える二足移動ロボットである。尚、上体2には、腕体や頭部が取り付けられていてもよい。

【0026】

各脚体3は、大腿部4、下腿部5、足平機構6を上体2の下端部から股関節7、膝関節8、足首関節9を順番に介して連接して構成されている。より詳しく言えば、各脚体3は、上体2の下端部から股関節7を介して大腿部4を延設すると共に、この大腿部4の先端部に膝関節8を介して下腿部5を連結し、さらに、この下腿部5の先端部に足首関節9を介して足平機構6を連結した構成とされている。そして、各脚体3はその最先端側に存する足平機構6を介して床Aに接地可能とされ、その接地により上体2を支持する。この場合、各脚体3の股関節7は、ロボット1の上下方向、前後方向、左右方向の3軸回りの回転動作が可能とされ、膝関節8は、左右方向の1軸回りの回転動作が可能とされ、足首関節9は、前後方向及び左右方向の2軸回りの回転動作が可能とされている。これらの各関節7～9の回転動作により、各脚体3は人間の脚体とほぼ同様の運動を行うことができるようになっている。

【0027】

また、各脚体3の各関節7～9には、その各軸回りの回転動作を行なうためのアクチュエータとしての電動モータ（図示しない）が設けられている。さらに、ロボット1の上体2には、該ロボット1の脚体3，3の動作制御（各関節7～9の電動モータの動作制御）を行う制御装置10や、ロボット1の動作用電源としての蓄電装置11等が搭載されている。制御装置10はマイクロコンピュータ等を含む電子回路により構成されたものである。この場合、制御装置10は、ロボット1の移動に際しては、人間と同様に、両脚体3，3の離床・着床動作を交互に繰り返すことにより、ロボット1を移動させるようにしている。その離床・着床動作の繰り返しは、より詳しく言えば、次のような動作である。すなわち、両脚体3，3のうちのいずれか一方を支持脚とし、他方を遊脚とする。そして、支持脚側の脚体3の足平機構6を床Aに接地させた状態で、遊脚側の脚体3の足平機構6を床A上から離反させて空中に持ち上げる。さらに、その遊脚側の脚体3の足平機構6を空中で移動させた後、所望の場所に接地させる。そして、その接地させた遊脚側の脚体3を新たに支持脚とすると共に、今まで支持脚となっていた脚体3を新たに遊脚とし、その新たに遊脚とされた脚体3を上記と同様に動かす。このような脚体3，3の動作の繰り返しが、ロボット1の移動の際の両脚体3，3の離床・着床動作の繰り返しである。

【0028】

各脚体3の足平機構6の構成を図2及び図3を参照してさらに説明する。図2は足平機構6の側面示の断面図、図3は該足平機構6の底面側から見た平面図である。

【0029】

足平機構6は、大略平板状の足平プレート部材12を骨格部材として備えている。この足平プレート部材12は、その前端部（つま先部）と後端部（踵部）とは若干上方に湾曲されているが、他の部分は平坦な平板状になっている。また、足平プレート部材12の上面部には、横断面方形状の筒部材13がその軸心を上下方向に向けて固設されている。この筒部材13の内部には、該筒部材13の内周面に沿うようにして略上下方向に移動可能に設けられた可動板14が設けられ、該可動板14が足首関節9に6軸力センサ15を介して連結されている。該6軸力センサ15は足平機構6に作用する床反力（詳しくは、前後、左右、及び上下方向の3軸方向の並進力、並びに、その3軸回りのモーメント）を検出するものであり、その検出出力は制御装置10に入力される。

【0030】

また、可動板１４は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材からなる複数の弾性部材１６（図ではばねとして記載している）を介して足平プレート部材１２の上面部に連結されている。従って、足平プレート部材１２は、弾性部材１６、可動板１４及び6軸力センサ１５を介して足首関節9に連結されている。尚、筒部材１３の内部（可動板１４の下側の空間）は、図示を省略する穴や隙間を介して大気側に開放されており、大気中の空気が筒部材１３の内部に入出自在となっている。

【００３１】

足平プレート部材１２の底面（下面）には、接地部材１７が取着されている。該接地部材１７は、足平機構6の着床状態で、該足平プレート部材１２と床面との間に介在させる弾性部材（床面に直接的に接触する弾性部材）であり、本実施形態では、足平プレート部材１２の接地面の四隅（足平プレート部材１２のつま先部の両側部並びに踵部の両側部）に固着されている。また、接地部材１７は、本実施形態では、比較的軟質のゴム材から成る軟質層１７ａと、比較的硬質のゴム材から成る硬質層１７ｂとを上下に重合してなる2層構造に形成され、硬質層１７ｂが、脚体3の着床時に直接的に床面に接触する接地面部として最下面側に設けられている。

【００３２】

足平機構6には、上記の構成の他、本発明に係わる着床衝撃緩衝装置１８が備えられている。この着床衝撃緩衝装置１８は、足平プレート部材１２の底面に取着された袋状部材１９と、該袋状部材１９の内部に対して圧縮性流体としての空気（大気中の空気）を入出させるための流通路２０とを備えている。

【００３３】

袋状部材１９は、その周囲に前記接地部材１７が存するようにして、足平プレート部材１２の底面の大略中央部に設けられている。この袋状部材１９は、ゴム等の弾性材により変形自在に構成されており、外力による弾性変形が生じていない自然状態では、図2に実線で示すように、上方に開口した円筒容器形状を呈する。そして、該袋状部材１９は、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材１２の底面に固着され、該足平プレート部材１２により閉蓋されている。また、袋状部材１９は、円筒容器形状を呈する自然状態では、該袋状部材１９の底部が前記接地部材１７よりも下方に突出するように設けられている。つまり、該袋状部材１９の高さ（足平プレート部材１２の下面から袋状部材１９の底部までの距離）は、接地部材１７の厚さよりも大きいものとされている。従って、足平プレート部材１２が接地部材１７を介して接地した状態（脚体3の着床状態）では、袋状部材１９は、図2に仮想線で示すように、あるいは図1で着床状態の脚体3（図ではロボット１の前方側の脚体3）に関して示すように、床反力により袋状部材１９の高さ方向に圧縮される。

【００３４】

尚、本実施形態では、袋状部材１９が円筒容器形状を呈する自然状態は該袋状部材１９の膨張状態である。そして、袋状部材１９は、弾性材により構成されているため、圧縮されたとき、自然状態の形状（円筒容器形状）への形状復元力を有する。

【００３５】

前記流通路２０は、本発明における流入・流出手段を構成するものであり、本実施形態では、袋状部材１９の内部と前記筒部材１３の内部とを連通させるように足平プレート部材１２に穿設された流通孔である。この場合、前述のように、筒部材１３の内部は大気側に開放されているので、該流通路２０は、袋状部材１９の内部を大気側に連通させていることとなる。従って、袋状部材１９の内部には、大気中の空気が流通路２０を介して入出自在となっており、該袋状部材１９の膨張状態（自然状態）では、該袋状部材１９内には空気が充填され、その内部の圧力は大気圧と同等になる。また、流通路２０は絞り通路となっており、袋状部材１９の内部に空気が入出する際には流体抵抗を生じるようになっている。

【００３６】

次に、本実施形態で、ロボット１を移動させるための脚体3の基本的な動作制御について

説明する。尚、この動作制御は、本願出願人による特開平１０－２７７９６９号公報等にて詳細に説明されているので、ここでは概要を説明する。

【００３７】

ロボット１の上体2に搭載されている前記制御装置１０は、図4のフローチャートに示す処理を所定の制御サイクルで実行する。すなわち、制御装置１０は、まず、ロボット１の歩容（脚体3の足運びの形態）の切替りタイミングであるか否かを判断する（ＳＴＥＰ１）。ここで、歩容の切替りタイミングは、支持脚の切替りタイミングであり、例えば遊脚側の脚体3が接地した時（本実施形態では、該脚体3の足平機構6の袋状部材１９が接地した時）のタイミングである。このタイミングの判断は、例えば前記6軸力センサ１５の出力等に基づいてなされる。

【００３８】

そして、ＳＴＥＰ１で歩容の切替りタイミングである場合には、制御装置１０は、制御処理用時刻t を「０」に初期化した後（ＳＴＥＰ２）、外部から与えられるロボット１の動作指令や、ロボット１のあらかじめ定められた移動計画（どのようなタイミングでロボット１をどのように動かすか等を定めた計画）に基づいて、歩容パラメータを更新する（ＳＴＥＰ３）。ここで、歩容パラメータは、ロボット１の1歩分の目標歩容を規定するパラメータであり、例えば、歩行、走行等のロボット１の移動モード、ロボット１の移動時の歩幅、移動速度（歩行周期）等のパラメータである。また、ロボット１の目標歩容は、上体2の目標位置及び姿勢の軌道、各脚体3の足平機構6の目標位置及び姿勢の軌道、目標全床反力（両脚体３，３にそれぞれ作用する床反力の合力の目標値）、目標ＺＭＰ（全床反力の作用点の目標位置）の軌道等から構成されるものである。尚、目標ＺＭＰは、より詳しくは、上体2の目標位置及び姿勢の軌道、及び各脚体3の足平機構6の目標位置及び姿勢の軌道により定まるロボット１の目標運動パターンに応じてロボット１に作用する慣性力と重力との合力に動的に平衡するような全床反力（該合力と同一作用線上の全床反力）の作用点の目標位置であり、その全床反力の鉛直方向軸回りのモーメント以外のモーメント（水平方向の軸回りのモーメント）が「０」になるような床上の点（Zero Moment Point）の目標位置である。

【００３９】

制御装置１０は、上記のようにＳＴＥＰ３で新たな歩容パラメータを設定した後、あるいは、前記ＳＴＥＰ１で歩容の切替りタイミングでない場合には、ＳＴＥＰ４の処理を実行し、現在の制御サイクルにおける目標歩容としての瞬時目標歩容を現在設定されている歩容パラメータに基づいて求める。すなわち、現在設定されている歩容パラメータにより規定されるロボット１の1歩分の目標歩容のうち、現在の制御サイクル（現在時刻ｔ）における目標歩容（現在時刻t における上体2の目標位置及び姿勢、各足平機構6の目標位置及び姿勢、目標全床反力、目標ＺＭＰ）が瞬時目標歩容として求められる。

【００４０】

次いで、制御装置１０は、ＳＴＥＰ５において、複合コンプライアンス動作の制御処理を実行し、ＳＴＥＰ４で求めた瞬時目標歩容のうち、各足平機構6の目標位置及び姿勢を修正する。この複合コンプラインアンス動作の処理では、上体2の目標姿勢（目標傾斜角度）と、図示しないジャイロセンサや加速度センサ等の出力により検出される上体2の実傾斜角度との偏差に応じて、上体2をその目標姿勢に復元させるために目標ＺＭＰ（目標全床反力の作用点）回りに発生させるべき全床反力のモーメント成分（以下、補償全床反力モーメントという）が求められる。ここで、求められる補償全床反力モーメントは、水平方向の軸回りのモーメントであり、ロボット１の前後方向の軸回りのモーメント成分と、左右方向の軸回りのモーメント成分とからなる。そして、制御装置１０は、各脚体3の6軸力センサ１５によりそれぞれ検出される各脚体3毎の実床反力の合力（実全床反力）を、接地状態の足平機構6の接地性を確保することができる範囲内において、上記補償全床反力モーメントと目標全床反力との合力に追従させるように各足平機構6の目標位置及び姿勢を修正する。この場合、目標全床反力の作用点としての前記目標ＺＭＰでは、目標全床反力の水平方向（前後方向及び左右方向）の軸回りのモーメント成分は「０」である。

従って、各足平機構6の目標位置及び姿勢の修正は、実全床反力の水平方向の軸回りのモーメント成分を補償全床反力モーメントに追従させるように行われる。尚、このような各足平機構6の目標位置及び姿勢の修正に際しては、各足平機構6の接地時における前記弾性部材１６及び接地部材１７の弾性変形の影響を補償するように、各足平機構6の目標位置及び姿勢が修正される。

【００４１】
次いで、制御装置１０は、前記ＳＴＥＰ４で求められた瞬時目標歩容のうちの上体2の目標位置及び姿勢と、ＳＴＥＰ５で修正された各足平機構6の目標位置及び姿勢とから、ロボット１の幾何学モデル（剛体リンクモデル）に基づくキネマティスク演算処理によって、両脚体３，３の各関節７～９の目標変位量（より詳しくは各関節７～９の各軸回りの目標回転角）を求める（ＳＴＥＰ６）。そして、制御装置１０は、この求めた目標変位量に各関節７～９の実変位量を追従させるように、各関節７～９を駆動する電動モータ（図示しない）のトルクを制御する（ＳＴＥＰ７）。尚、この場合、各関節７～９の実変位量（各関節７～９の各軸回りの実回転角）は、各関節７～９に備えられるロータリエンコーダ等により検出される。さらに、制御装置１０は、制御処理用時刻ｔを所定時間Δｔ（制御サイクルの周期に相当する時間）だけ増加させ（ＳＴＥＰ８）、図４の処理を終了する。

【００４２】
以上のような制御装置１０の制御処理により、ロボット１は、その姿勢の安定性を自律的に確保しながら、目標歩容に追従するようにして移動することとなる。

【００４３】
次に、本実施形態の装置の作動、特に前記着床衝撃緩衝装置１８の作動及び効果を説明する。前述した制御装置１０の制御処理によるロボット１の移動時に、遊脚側の脚体3が着床する際には、まず、前記袋状部材１９が接地する。そして、この袋状部材１９が脚体３の着床動作（足平機構6の足平プレート部材１２を前記接地部材１７を介して接地させようとする脚体3の運動）の進行に伴い該袋状部材１９に作用する床反力により、袋状部材１９が圧縮される。

【００４４】
このとき、袋状部材１９が圧縮されるに伴い、該袋状部材１９内の空気が圧縮・加圧され、前記流通路２０を介して流出する。このとき、空気の流出抵抗が流通路２０で発生する。これにより脚体3の運動エネルギーが減衰する。また、この場合、圧縮性流体である空気のばね性によって、脚体３の運動エネルギーの一部が該空気の弾性エネルギーに変換されて吸収され、さらにその弾性エネルギーが、袋状部材１９からの空気の流出抵抗によって消散する。これにより、袋状部材１９を介して脚体3に作用する床反力の瞬時的な急変を避けつつ、脚体３の着床動作時の衝撃荷重（以下、着床衝撃ということがある）が軽減される。この場合、袋状部材１９は変形自在で、床Ａの形状に沿って変形して圧縮されるため、床Ａの形状や着床直前の足平機構6の姿勢の影響をさほど受けることなく着床衝撃を軽減することができると共に、袋状部材１９の破損等も生じ難い。

【００４５】
また、脚体3が離床して、袋状部材１９に床反力が作用しなくなると、袋状部材１９の自然状態（膨張状態）への復元力によって、該袋状部材１９が膨張しつつ、前記流通路２０を介して大気中の空気が袋状部材１９内に流入する。この場合、本実施形態では、袋状部材１９の復元力は、該袋状部材１９を備えた脚体3が遊脚となる期間内において、該袋状部材１９が圧縮状態から自然状態に復元するように設定されいる。従って、該脚体３の着床動作が再び行われる際には、袋状部材１９は自然状態に復元している。このため、該脚体3の着床動作が再び行われる際に、着床衝撃の軽減を適正に行うことができる。

【００４６】
このように着床衝撃を軽減する本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８は、その着床衝撃の軽減に係わる機能上は、図5に示すように、ばねＫ１とダンパーＤ１とを直列に接続したものと、ばねＫ２とを並列に接続した機構により近似される。ここで、ばねＫ１は、袋状部材１９内の空気の圧縮ばね性によるものであり、そのばね定数は、袋状部材１９の圧縮時

の受圧面積に比例すると共に、袋状部材１９の高さに反比例する。また、ダンパーＤ１は袋状部材１９の圧縮時に該袋状部材１９内の空気が絞り通路である前記流通路２０を介して流出する際の流出抵抗によるものであり、そのダンピング効果（運動エネルギーの減衰性）は、流通路２０の開口面積が小さい程、強くなる。また、ばねＫ２は袋状部材１９の膨張状態（自然状態）への復元力によるものであり、そのばね定数は、袋状部材１９の材質、厚み等に依存する。

【００４７】

この場合、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８の前述の作動によって、脚体３の着床動作の際の脚体３の運動エネルギーを円滑に吸収して消散させるためには、基本的には、ばねＫ１のばね定数（袋状部材１９の自然状態におけるばね定数）をばねＫ２のばね定数よりも十分に大きくしておくことが好ましい。つまり、基本的には、袋状部材１９は、その底部の面積を比較的大きめにしておくことが好ましく、また、袋状部材１９の圧縮状態から自然状態（膨張状態）への復元力は比較的弱めにしておくことが好ましい。

【００４８】

但し、ばねＫ１のばね定数を大きくし過ぎると、脚体３の着床動作の際に袋状部材１９を介して脚体３に作用するピーク荷重（床反力のピーク値）が大きくなりやすい。逆に、ばねＫ１のばね定数を小さくし過ぎると、脚体３の着床直後の床反力の振動の減衰性が低下する。また、ばねＫ２のばね定数が小さ過ぎると、袋状部材１９の復元力が弱くなり、特に、ロボット１の移動速度が比較的速いときには、脚体３の離床動作後に、次に該脚体３が着床するまでに、袋状部材１９が、自然状態もしくはそれに近い状態まで十分に復元しない虞れがある。

【００４９】

このため、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、これらの点を考慮して、袋状部材１９のサイズや該袋状部材１９の復元力等が設定されている。従って、着床衝撃緩衝装置１８は、脚体３の着床動作時の衝撃を適正に軽減することができる。

【００５０】

また、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８は、次のような効果も奏することができる。すなわち、袋状部材１９内に対して入出する流体は圧縮性流体の空気であるため、着床衝撃緩衝装置１８を軽量に構成することができる。さらに、脚体３の着床動作の際に、袋状部材１９内の圧力が瞬時に増加することがなく、ある程度の時定数を有して立ち上がるため、床反力の急変を避けることができる。また、袋状部材１９の圧縮時に該袋状部材１９から流出する空気は大気中に放出されると共に、該袋状部材１９の膨張時には大気中から新たな空気が該袋状部材１９内に流入するため、袋状部材１９からの空気の流出抵抗に伴う発熱が袋状部材１９内に蓄積することがない。つまり、着床衝撃緩衝装置１８の放熱性が良く放熱器等の発熱対策機器を備える必要がない。

【００５１】

また、脚体３の着床動作の際にばねとして機能する袋状部材１９内の空気のばね定数は、袋状部材１９の接地直後の圧縮に伴い小さくなるため、前述の複合コンプライアンス動作の制御の効果を高めることができる。すなわち、ロボット１の複合コンプライアンスの動作の制御では、前述したように、実全床反力の水平方向の軸回りのモーメント成分（以下、ここでは、実全床反力モーメントという）を、そのモーメント成分の目標値としての補償全床反力モーメント（補償全床反力モーメントが「０」である場合も含む）に追従させるように各足平機構６の位置及び姿勢が修正される。そして、このような複合コンプライアンス動作制御は、床Ａに傾きがあるような場合であっても、足平機構６の着床位置及び姿勢を床Ａ面になじませ、ロボット１の姿勢の安定性を確保するためのものである。この場合、前記実全床反力モーメントの補償全床反力モーメントへの追従性を高めるためには、複合コンプライアンス動作制御におけるコンプライアンスゲイン、すなわち、実全床反力モーメントと補償全床反力モーメントとの間の偏差の変化に対する足平機構６の目標着床位置及び姿勢の変化量（足首関節９の回転角の変化量）を大きくすることが好ましい。但し、上記コンプライアンスゲインを大きく採ると、一般には、複合コンプラインス動作

制御のループゲイン（これは、概ね、上記コンプライアンスゲインと、足平機構6が有するばね機構（前記接地部材１７、弾性部材１６、及び着床衝撃緩衝装置１８）のトータル的なばね定数との積に比例する）が大きくなって、制御系が不安定になりやすい。

【００５２】

しかるに、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８の前記ばねＫ１として機能する袋状部材１９内の空気のばね定数は、袋状部材１９の接地直後の圧縮に伴い小さくなるため、上記ループゲインが小さくなる。その結果、前記コンプライアンスゲインを高めても、複合コンプライアンス動作制御の安定性を確保することができる。従って、実全床反力モーメントの補償全床反力モーメントへの追従性を高めることができ、ひいては、ロボット１の姿勢の安定性の確保を高めることができる。

【００５３】

次に、本発明の第2実施形態を図6を参照して説明する。図6は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の側面示の断面図である。尚、本実施形態は、前記第1実施形態のものと袋状部材の形状のみが相違するものであるので、前記第1実施形態と同一の参照符号を用いる。そして、第1実施形態と同一構成部分については説明を省略する。

【００５４】

前記第1実施形態では、袋状部材１９を円筒形状に形成したものを示したが、円筒形状に形成した袋状部材１９は、各足平機構6の着床動作の際に該袋状部材１９が接地した直後に該袋状部材１９の内部の空気がさほど加圧されない状態で樽型に形状変形しやすい。そこで、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、図6に示すように、自然状態で樽型になるように形成した袋状部材１９が足平プレート部材１２の底面に取着されている。これ以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は前記第1実施形態と全く同一である。

【００５５】

このような本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材１９が接地した直後から該袋状部材１９内の空気が加圧されるため、着床衝撃緩衝装置１８による着床衝撃の緩衝作動の速応性が高まる。これ以外の作用効果は、前記第1実施形態と同様である。

【００５６】

尚、以上説明した第1及び第2実施形態では、袋状部材１９に対して入出する空気の流通路を足平プレート部材１２に穿設した流通孔により構成したが、ホース管を用いて構成するようにしてもよい。

【００５７】

また、前記第1及び第2実施形態では、袋状部材１９を弾性材により構成して、該袋状部材１９自身に形状復元力をもたせたが、例えば袋状部材１９を復元力を有しない素材により構成し、コイルスプリング等、別のばねにより袋状部材１９を、所定の膨張状態に付勢するようにしてもよい。

【００５８】

また、前記第1及び第2実施形態では、袋状部材１９は、上方に開口させたものを示したが密閉型のものであってもよい。この場合には、該袋状部材に流通孔を穿設し、その流通孔を介して該袋状部材内に対する空気の入出を行うようにすればよい。あるいは、布、網、多孔質素材等、多数の細孔を有する素材により、袋状部材を構成するようにしてもよい。

【００５９】

次に、本発明の第3実施形態を図7（ａ），（ｂ）を参照して説明する。図7（ａ），（ｂ）は、本実施形態の着床衝撃緩衝装置の流入・流出手段の構成を示す断面図である。尚、本実施形態は、前記第2実施形態のものと流入・流出手段の構成のみが相違するものであるので、前記第1実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、該第2実施形態と同一の参照符号を用いて説明を省略する。

【００６０】

図7に示すように、本実施形態における着床衝撃緩衝装置では、流入・流出手段２３は、各足平機構6の足平プレート部材１２から上方に突設された中空の弁室体２４と、この弁

室体２４の内部に設けられた円板状の弁体２５とを備えている。弁室体２４の内部は、該弁室体２４の下端部に穿設された流通穴２４ａを介して袋状部材１９内に連通されていると共に、該弁室体２４の上端部に穿設された流通穴２４ｂを介して大気側に連通されている。

【００６１】

弁体２５は、その中心部に流通孔２５ａが穿設され、一端部（図の左端部）には、切欠き部２５ｂが設けられている。また、弁体２５は、その他端部（図の右端部）に設けられた支軸２６を支点として、切欠き部２５ｂ側の端部が上下する方向に揺動可能とされている。この場合、弁体２５は、その上面部が図7（ａ）に示すように弁室体２４の上端部に当接する状態と、該弁体２５の下端部が図7（ｂ）に示すように弁室体２４の下端部に当接する状態との間で揺動可能とされ、図7（ａ）の状態では、弁体２５の切欠き部２５ｂを弁室体２４の上端部により閉蓋して、袋状部材１９側の流通穴２４ａと大気側の流通穴２４ｂとを弁体２５の流通孔２５ａのみを介して連通させ、図7（ｂ）の状態では、両流通穴２４ａ，２４ｂを弁体２５の流通孔２５ａ及び切欠き部２５ｂの両者を介して連通させるようになっている。また、弁体２５は、足平機構6の着床動作に伴う袋状部材１９の圧縮の際には、該袋上部材１９内の圧力の上昇により、図7（ａ）の状態に揺動されると共に、足平機構6の離床に伴う袋状部材１９の膨張の際には、該袋状部材１９内に発生する負圧と重力とにより、図7（ｂ）の状態に揺動するようになっている。以上説明した以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2実施形態のものと同一である。

【００６２】

このような構成の流入・流出手段２３を備えた本実施形態の着床衝撃緩衝装置では、袋状部材１９の膨張の際に袋状部材１９内に流入する空気は、図7（ｂ）に矢印で示すように、弁体２５の流通孔２５ａ及び切欠き部２５ｂの両者を通るので、その流入抵抗が比較的小さなものとなる。その結果、該袋状部材１９を速やかに自然状態（膨張状態）に復帰させることができる。

【００６３】

一方、袋状部材１９の圧縮の際に袋状部材１９から流出する空気は、図7（ａ）に矢印で示すように、弁体２５の流通孔２５ａのみを通るので、その流出抵抗が比較的大きなものとなる。その結果、その流出抵抗による着床衝撃緩衝装置のダンピング効果を高めることができる。これ以外の作用効果は、前記第2実施形態と同様である。

【００６４】

次に、本発明の第4実施形態を図8を参照して説明する。図8は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図である。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第2実施形態のものと同一であり、図8では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第2実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第2実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

【００６５】

本実施形態は、前記第3実施形態のものの着床衝撃緩衝装置の流入・流出手段２３と同等の機能を有する流入・流出手段を逆止弁等を用いて構成したものである。すなわち、図8を参照して、本実施形態では、着床衝撃緩衝装置１８の流入・流出手段２６は、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された一対の流体管路２７，２８と、これらの流体管路２７，２８は、その先端部（袋状部材１９と反対側の端部）を合流させた合流管路２９を介して大気側に開放されている。そして、流体管路２７には絞り部３０が設けられ、流体管路２８には逆止弁３１が設けられている。この場合、逆止弁３１は、袋状部材１９内から流体管路２８を通って空気が流出するのを遮断するように設けられている。かかる流入・流出手段２６以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2実施形態のものと同一である。

【００６６】

このような流入・流出手段２６を備えた着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材１９の圧縮時には、該袋状部材１９内から絞り部３０を有する流体管路２７及び合流管路２９を介して大気中に空気が流出し、逆止弁３１によって流体管路２８には空気が流れない。従って、その流出抵抗が比較的大きいものとなる。また、袋状部材１９の膨張時には、大気中の空気が合流管路２９から、両流体管路２７，２８を介して袋状部材１９内に流入する。従って、その流入抵抗が比較的小さいものとなる。この結果、前記第3実施形態と同様の作用効果を奏する。

【００６７】

尚、本実施形態では、絞り部３０と逆止弁３１とを別体構成としたが、本実施形態の流入・流出手段２６を、通常的な構造の一方向絞り弁を用いて構成するようにしてもよい。

【００６８】

次に本発明の第5実施形態を図9を参照して説明する。図9は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図である。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第2実施形態のものと同一であり、図9では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第2実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第2実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

【００６９】

前述の第1～第4実施形態では、袋状部材１９に対する空気の流入・流出をそれぞれ行うための流通路の全部もしくは一部を共用したものを示したが、本実施形態は、袋状部材１９への空気の流入と、袋状部材１９からの空気の流出を各別の流通路で行うようにしたものである。すなわち、本実施形態における着床衝撃緩衝装置１８の流入・流出手段３２は、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された一対の流体管路３３，３４を備え、これらの流体管路３３，３４の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）は大気側に開放されている。そして、流体管路３３には、袋状部材１９内への空気の流入を阻止する逆止弁３５と絞り部３６とが設けられ、流体管路３４には、袋状部材１９からの空気の流出を阻止する逆止弁３７と絞り部３８とが設けられている。この場合、流体管路３３の絞り部３６の開口面積は、流体管路３４の絞り部３８の開口面積よりも小さいものとされている。尚、流体管路３４の絞り部３８の開口面積は、該流体管路３４の他の部分の開口面積と同一でもよい。以上説明した以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2実施形態のものと同一である。

【００７０】

このような流入・流出手段３２を備えた着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材１９の圧縮時には、流体管路３３のみを介して袋状部材１９内の空気が大気側に流出し、このときの流出抵抗が絞り部３６によって規定される。また、袋状部材１９の膨張時には、流体管路３４のみを介して袋状部材１９内に大気側の空気が流入し、このときの流入抵抗が絞り部３８によって規定される。従って、袋状部材１９に対する空気の流入・流出抵抗を各別に所望の特性に設定できる。また、本実施形態では、絞り部３６の開口面積は、絞り部３８の開口面積よりも小さいので袋状部材１９に対する空気の流出抵抗は流入抵抗よりも大きい。従って、前記第3あるいは第4実施形態と同様の作用効果を奏する。これ以外の作用効果は、前記第2実施形態のものと同様である。

【００７１】

尚、流入・流出手段の構成の簡略化や、部品点数を少なくする点では、袋状部材１９に対する空気の入出を、流通路の全部もしくは一部を共用して行う前記第1～第4実施形態のものが有利である。

【００７２】

また、本実施形態で、流体管路３３の逆止弁３５を省略することも可能であり、この場合には、袋状部材１９の膨張時に、両流体管路３３，３４を介して袋状部材１９内に空気が流入することとなる。但し、流体管路３３を介して袋状部材１９内に流入する空気量よりも流体管路３４を介して袋状部材１９内に流入する空気量の方が多くなる。

【００７３】
次に、本発明の第6 実施形態を図１０を参照して説明する。図１０は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図である。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第2 実施形態のものと同一であり、図１０では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第2 実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第2 実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。
【００７４】
本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、流入・流出手段３９として、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された一対の流体管路４０，４１を備え、これらの流体管路４０，４１の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）は大気側に開放されている。そして、流体管路４０には、前記制御装置１０により電磁的に開口面積を制御可能な可変絞り４２（電磁比例弁）が設けられ、流体管路４１には、袋状部材１９から空気が流体管路４１を通って流出を阻止する逆止弁４３が設けられている。この場合、本実施形態では、制御装置１０は、ロボット１の移動速度が速い程、可変絞り４２の開口面積を小さくするように該可変絞り４２を制御する。これ以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2 実施形態のものと同一である。
【００７５】
かかる本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材１９の圧縮時には、可変絞り４２を有する流体管路４０を介して袋状部材１９内の空気が大気側に流出する。また、袋状部材１９の膨張時には、流体管路４０，４１の両者を介して袋状部材１９内に大気中の空気が流入する（但し、大部分の空気は、流体管路４１を介して袋状部材１９内に流入する）。従って、袋状部材１９に対する空気の流出抵抗及び流入抵抗の大小関係に関しては、前記第３～第5 実施形態のものと同様である。
【００７６】
一方、本実施形態では、ロボット１の移動速度が速いほど、可変絞り４２の開口面積を小さくして、袋状部材１９からの空気の流出抵抗を大きくするので、ダンピング効果が高まる。このため、ロボット１の移動速度が速いほど、各脚体3の着床動作時に該脚体3に作用する床反力を速やかに定常化することできる。これ以外の作用効果については、前記第2 実施形態と同様である。
【００７７】
次に、本発明の第7 施形態を図１１参照して説明する。図１１は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図である。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第2 実施形態のものと同一であり、図１１では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第2 実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第2 実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。
【００７８】
本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、流入・流出手段４４として、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された3個の流体管路４５，４６，４７を備え、これらの流体管路４５～４７の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）は大気側に開放されている。そして、流体管路４５には、絞り部４８が設けられ、流体管路４６には、袋状部材１９から空気が流体管路４６を通って流出するのを阻止する逆止弁４９が設けられている。さらに、流体管路４７には、前記制御装置１０により設定圧を電磁的に制御可能なリリーフ弁５０が設けられている。この場合、本実施形態では、制御装置１０は、ロボット１の移動速度が速い程、リリーフ弁５０の設定圧を大きくするように該リリーフ弁５０を制御する。これ以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2 実施形態のものと同一である。
【００７９】
かかる本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材１９の圧縮時には、絞り部４８

を有する流体管路４５を介して袋状部材１９内の空気が大気側に流出する。また、袋状部材１９の膨張時には、流体管路４５，４６の両者を介して袋状部材１９内に大気中の空気が流入する（但し、大部分の空気は、流体管路４６を介して袋状部材１９内に流入する）。従って、袋状部材１９に対する空気の流出抵抗及び流入抵抗の大小関係に関しては、前記第３～第6実施形態のものと同様である。

【００８０】
一方、本実施形態では、袋状部材１９の圧縮時に、該袋状部材１９内に圧力がリリーフ弁５０の設定圧を超えると、該リリーフ弁５０が開成し、袋状部材１９内の圧力の更なる上昇が阻止される。これにより、袋状部材１９内の圧力が過剰に高くなるのを防止できる。この場合、一般に、ロボット１の移動速度が速いほど、脚体３の運動エネルギーが大きくなるので、該運動エネルギーを吸収する上で、袋状部材１９内の圧力は、ロボット１の移動速度が速い程、より高圧の圧力まで上昇することが好ましい。このため、本実施形態では、ロボット１の移動速度が速い程、リリーフ弁５０の設定圧を大きくするようにしている。これにより、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８による着床衝撃の軽減効果を、ロボット１の移動速度によらずに適正に確保することができる。

【００８１】
次に、本発明の第8実施形態を図１２及び図１３を参照して説明する。図１２は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図、図１３は本実施形態の着床衝撃緩衝装置の作動を説明するための線図である。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第2実施形態のものと同一であり、図１２では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第2実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第2実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

【００８２】
図１２を参照して、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、流入・流出手段５１として、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された一対の流体管路５２，５３を備え、これらの流体管路５２，５３の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）はアキュムレータ５４及び加圧ポンプ５５からなる空圧源５６に接続されている。該空圧源５６は、大気圧よりも高い所定圧の空気の供給源である。そして、流体管路５２には、絞り部５７と、袋状部材１９に流体管路５３を通って空気が流入するのを阻止する逆止弁５８とが設けられ、流体管路５３には、絞り部５９と、袋状部材１９から流体管路５３を通って空気が流出するのを阻止する逆止弁６０と、前記制御装置１０により開閉制御可能な電磁弁６１とが設けられている。この場合、絞り部５７の開口面積は、絞り部５９の開口面積よりも小さいものとされている。

【００８３】
また、本実施形態では、袋状部材１９は、その自然状態に膨張した状態（図１２に示す状態）では、その内部の圧力が大気圧より高くなっても、該自然状態の形状がほぼ維持され、弾性力（形状復元力）がほとんど発生しないようになっている。つまり、袋状部材１９の容積は、自然状態における容積がほぼ上限容積となるようになっている。このような袋状部材１９は、例えば伸び難い弾性材や、基布等、伸びない素材を混入した弾性材により構成されている。さらに、本実施形態では、前記制御装置１０は、例えば、脚体３の離床状態では、電磁弁６１を開弁制御し、脚体３の着床状態では、電磁弁６１を閉弁制御するようにしている。以上説明した以外の構成（制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第2実施形態と同一である。

【００８４】
かかる本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、脚体３の離床状態において電磁弁６１が開弁されている。このため、脚体３の離床状態において、前記空圧源５６から大気圧よりも高圧の空気が流体管路５３を通って、袋状部材１９内に流入し、該袋状部材１９が自然状態（図１２に示す状態）に膨張する。この場合、流体管路５３の絞り部５９の開口面積は比較的広いので、袋状部材１９内への空気の流入抵抗は比較的小さく、該袋状部材１９

は自然状態（膨張状態）まで速やかに膨張する。また、この場合、該袋状部材１９は、本実施形態では自然状態において形状復元力が生じないため、該袋状部材１９の膨張状態では、袋状部材１９内の圧力と、大気圧との差によって、該袋状部材１９内の空気が予圧を有することとなる。

【００８５】

また、脚体３の着床動作の際には、その着床動作に伴う袋状部材１９の接地後、該袋状部材１９がその内部の空気と共に、圧縮・加圧され、該袋状部材１９から流体管路５２を通って空気が流出する。そして、このとき、流体管路５２の絞り部５７によって、空気の流出抵抗が発生する。これにより、基本的には、前記第１〜７実施形態と同様に、着床衝撃を軽減することができる。そして、この場合、流体管路５２の絞り部５７の開口面積は比較的小さいものとなっていると共に、袋状部材１９から流出する空気の圧力が高圧であるため、袋状部材１９の圧縮時の空気の流出抵抗が高まり、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８のダンピング効果を高めることができる。

【００８６】

さらに、本実施形態では、特に、袋状部材１９の膨張状態において、その内部の空気に予圧が与えられているため、袋状部材１９がその圧縮に伴い発生する反力は、図１３に示すように、袋状部材１９の圧縮開始直後に急激に増加し、その後、袋状部材１９の圧縮量（袋状部材１９の高さ方向の圧縮量）の増加に伴い線形的に該反力が増加していくものとなる。このため、脚体３の着床動作に伴う袋状部材１９の接地直後に該脚体３の足平機構６の運動量を迅速に減少させることができ（袋状部材１９の接地直後に足平機構６の運動量を減少させる方向の力積を大きくできる）、ひいては、脚体３の着床動作の際に該脚体３に作用する衝撃荷重（床反力）のピーク値を小さくすることができる。つまり、着床衝撃の軽減効果を高めることができる。

【００８７】

さらに、本実施形態では、脚体３の着床状態では、電磁弁６１が閉弁されているため、袋状部材１９には、空気が流入できず、該袋状部材１９が圧縮状態に維持される。従って、袋状部材１９の箇所に床反力を作用させることなく、足平機構６の着床状態での姿勢制御によって、該足平機構６の所望の部位に集中的に床反力を作用させるようにすることができる。例えば、ロボット１が前のめりに転倒しそうになった時に、足平機構６の前端側に床反力を集中させるようにすることができる。この結果、ロボット１の姿勢の安定化を容易に図ることができる。尚、これに関して、補足説明をすると、仮に脚体３の着床状態で電磁弁６１を開弁したままにしておくと、袋状部材１９には、常に高圧の空気が空圧源５６から流入しようとする（袋状部材１９が常に膨らもうとする）ため、該袋状部材１９の箇所には常に床反力が作用することとなる。このため、足平機構６の所望の部位に床反力を集中させることができず、足平機構６の着床状態における姿勢制御によるロボット１の姿勢の安定化に限界が生じやすくなる。これに対して、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、上述のようにロボット１の姿勢の安定化の限界を高めることができる。

【００８８】

尚、上記第８実施形態では、袋状部材１９を弾性材により構成したが、弾性を有しない可撓性の素材により構成してもよい。このようにしても、前記第８実施形態では、袋状部材１９内に高圧の空気を流入させるので、該袋状部材１９を膨張させることができる。また、前記電磁弁６１の開閉制御に関しては、脚体３が着床状態から離床状態に移行した直後の期間では、電磁弁６１を閉弁保持するようにして、袋状部材１９を圧縮状態に維持するようにしてもよい。このようにすると、脚体３の離床動作を円滑に行うことができる。

【００８９】

また、前記第８実施形態では、袋状部材１９は、伸びにくい素材等を使用することにより、自然状態よりも膨張しないようにして該袋状部材１９内の空気に予圧をもたせるようにしたが、該袋状部材１９がその内部の圧力を大気圧よりも高圧にしても、機構的に自然状態よりも膨張しないようにして、該袋状部材１９の内部の空気に予圧をもたせるようにすることも可能である。このような予圧付与機構の例を、第９実施形態及び第１０実施形態

として、それぞれ図１４、図１５に示す。尚、図１４及び図１５では、前記第８実施形態と同一構成部分は、同一の参照符号を付している。

【００９０】

図１４に示す第９実施形態では、袋状部材１９内の底面部にプレート部材６１が固設され、このプレート部材６１が袋状部材１９の内部で足平プレート部材１２に可撓性のワイヤ６２を介して連結されている。その他の構成は、前記第８実施形態と同一である。この第９実施形態では、ワイヤ６２が伸びた状態が、袋状部材１９の膨張状態であり、この状態以上には、袋状部材１９が膨張しない。従って、袋状部材１９の膨張状態で、その内部の空気に前記第８実施形態と同様に予圧をもたせることができる。尚、袋状部材１９の圧縮は、ワイヤ６２が撓むことにより支障なく行われる。

【００９１】

図１５に示す第１０実施形態では、袋状部材１９内の底面部にプレート部材６３が固設され、このプレート部材６３から上方に向かって延設されたロッド部材６４が足平プレート部材１２を上下方向（袋状部材１９の圧縮方向）に摺動自在に貫通して、該足平プレート部材１２の上側に突出している。そして、該ロッド部材６４の上端部には、ストッパプレート６５が固設され、このストッパプレート６５が足平プレート部材１２の上面部に当接することで、ロッド部材６４の下方への移動が規制されるようになっている。その他の構成は、前記第８実施形態と同一である。この第１０実施形態では、ストッパプレート６５が足平プレート部材１２の上面部に当接した状態が、袋状部材１９の膨張状態であり、この状態以上には、袋状部材１９が膨張しない。従って、袋状部材１９の膨張状態で、その内部の空気に前記第８実施形態と同様に予圧をもたせることができる。尚、袋状部材１９の圧縮は、ストッパプレート６５が足平プレート部材１２上からその上方に離反しつつロッド部材６４が上動することにより、支障なく行われる。

【００９２】

次に、本発明の第１１実施形態を図１６及び図１７を参照して説明する。図１６は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部を模式化して示した図、図１７は、本実施形態に係わる制御処理を示すフローチャートである。尚、本実施形態では、足平機構は、着床衝撃緩衝装置に係わる構成を除いて前記第２実施形態のものと同一であり、図１６では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第２実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、第２実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

【００９３】

図１６に示すように、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、流入・流出手段６６として、袋状部材１９内に連通して袋状部材１９側から導出された一対の流体管路６７，６８を備え、流体管路６７の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）は、空気が充填されたエア室６９に接続されている。また、流体管路６８の先端部（袋状部材１９側と反対側の端部）は大気側に開放されている。そして、これらの流体管路６７，６８には、それぞれ前記制御装置１０により開閉状態を制御可能な電磁比例弁７０，７１が設けられている。さらに、袋状部材１９の内部には、その内部の圧力を検出する圧力センサ７２が設けられ、その出力は前記制御装置１０に入力されるようになっている。尚、エア室６９内の空気の圧力は大気圧よりも高圧とされている。また、袋状部材１９は、前記第８実施形態と同様に、その内部の圧力が大気圧より高くなっても、自然状態以上にはほとんど膨張しないように、伸びにくい弾性材により構成されている。また、以下の説明では、電磁比例弁７０をエア室側電磁比例弁７０、電磁比例弁７１を大気側電磁比例弁７１と称する。

【００９４】

この場合、本実施形態では、制御装置１０は、前述したロボット１の動作制御と並行して、図１７のフローチャートに示す処理を、各脚体３毎に、前記図４のフローチャートのＳＴＥＰ５の処理と並行して制御サイクル毎に実行し、前記電磁比例弁７０，７１の開閉状態を制御するようにしている。

【００９５】

すなわち、制御装置１０は、現在設定されている歩容パラメータ（ロボット１の移動モードや、歩幅、移動速度等）に応じて、脚体３の離床状態で袋状部材１９内に大気中の空気を流入させる期間と規定する大気吸入時間Ｔinと、脚体３の離床状態で袋状部材１９内にエア室６９内の空気を流入させて袋状部材１９内の圧力を昇圧する期間を規定する昇圧時間Ｔupと、脚体３の着床動作の際の袋状部材１９の接地後に袋状部材１９内の空気を大気側に流出させるタイミングを規定する切換え圧Ｐｃとを設定する（ＳＴＥＰ１１）。尚、大気吸入時間Ｔinは基本的には、ロボット１の移動速度が速いほど、短い時間に設定され、昇圧時間Ｔupは基本的には、ロボット１の移動速度が速いほど、長い時間に設定され、切換え圧Ｐｃは、基本的にはロボット１の移動速度が速いほど、高い圧力に設定される。

【００９６】

さらに、制御装置１０は、現在設定されている歩容パラメータに基づいて、脚体３が支持脚期となる時間Ｔsup（足平機構６が接地部材１７もしくは袋状部材１９を介して接地した状態に維持される時間。以下、支持脚時間Ｔsupという）を求める（ＳＴＥＰ１２）。

【００９７】

次いで、制御装置１０は、現在時刻ｔが、０≦ｔ＜Ｔsupであるか否か、すなわち、現在時刻ｔが支持脚期内のタイミングであるか否かを判断する（ＳＴＥＰ１３）。このとき、現在時刻ｔが支持脚期内にあるときには、制御装置１０はさらに、前記圧力センサ７２により検出圧力が前記切換え圧Ｐｃまで上昇したか否かを判断し（ＳＴＥＰ１４）、該検出圧力が切換え圧Ｐｃまで上昇していないときには、前記大気側電磁比例弁７１を全閉状態に保持すると共に、エア室側電磁比例弁７０を半開状態に保持する（ＳＴＥＰ１５）。また、ＳＴＥＰ１４で、検出圧力が切換え圧Ｐｃまで上昇した場合には、大気側電磁比例弁７１を半開状態に保持すると共に、エア室側電磁比例弁７０を全閉状態に保持する（ＳＴＥＰ１６）。尚、この場合、ＳＴＥＰ１６の処理を実行した後には、制御装置１０は、現在時刻ｔが支持脚期内にある限り、検出圧力が切換え圧Ｐｃよりも低い圧力に低下しても、大気側電磁比例弁７１を半開状態に保持すると共に、エア室側電磁比例弁７０を全閉状態に保持する。

【００９８】

前記ＳＴＥＰ１３において、０≦ｔ＜Ｔsupでない場合には、制御装置１０は、さらに、現在時刻ｔがＴsup≦ｔ＜Ｔsup＋Ｔinであるか否か、すなわち、脚体３の支持脚期の終了後、大気吸入時間Ｔinが経過するまでの期間（以下、この期間を大気吸入期間という）内であるか否かを判断する（ＳＴＥＰ１７）。このとき、現在時刻ｔが大気吸入期間内にあるときには、制御装置１０は、大気側電磁比例弁７１を全開状態に保持すると共に、エア室側電磁比例弁７０を全閉状態に保持する（ＳＴＥＰ１８）。

【００９９】

さらに、ＳＴＥＰ１７において、Ｔsup≦ｔ＜Ｔsup＋Ｔinでない場合には、制御装置１０は、現在時刻ｔが、Ｔsup＋Tin≦ｔ＜Ｔsup＋Ｔin＋Ｔupであるか否か、すなわち、前記大気吸入期間を過ぎてから、前記昇圧時間Ｔupが経過するまでの期間（以下、この期間を昇圧期間という）内であるか否かを判断する（ＳＴＥＰ１９）。このとき、現在時刻ｔが昇圧期間内にあるときには、制御装置１０は、大気側電磁比例弁７１を全閉状態に保持すると共に、エア室側電磁比例弁７０を全開状態に保持する（ＳＴＥＰ２０）。

【０１００】

また、制御装置１０は、ＳＴＥＰ１９において、現在時刻ｔが昇圧期間内にないときには（このとき、前記支持脚期及び大気吸入期間でもない）、前記ＳＴＥＰ１５と同様に、前記大気側電磁比例弁７１を全閉状態に保持すると共に、電磁比例弁７０を半開状態に保持する（ＳＴＥＰ２１）。

【０１０１】

このように電磁比例弁７０，７１の開閉状態を制御する本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、脚体３の袋状部材１９の接地の少し前から、大気側電磁比例弁７１が全閉状態に保持されると共に、エア室側電磁比例弁７０が半開状態に保持されている。このため、脚体３の着床動作に伴う袋状部材１９の接地直後において、該袋状部材１９がその内部の空

気と共に圧縮・加圧されつつ、該袋状部材１９内の空気が半開状態のエア室側電磁比例弁７０により形成される絞りを介してエア室６９に流出する。従って、袋状部材１９内の空気が流出抵抗を伴って流出し、ダンピング効果が発生する。尚、このとき、エア室６９内の圧力が上昇して高圧になる。

【０１０２】
さらに、袋状部材１９の圧縮が進行して、その内部の圧力が前記切換え圧Ｐｃを越えると、大気側電磁比例弁７１が半開状態に保持されると共に、エア室側電磁比例弁７０が全閉状態に保持される。このため、袋状部材１９内の空気は、半開状態の大気側電磁比例弁７１により形成される絞りを介して大気側に流出する。従って、袋状部材１９の接地直後と同様、袋状部材１９内の空気が流出抵抗を伴って流出し、ダンピング効果が発生する。このような、脚体３の着床動作の際の、袋状部材１９の圧縮及びその内部の空気の流出動作によって、前記第２実施形態等と同様に、着床衝撃が軽減される。

【０１０３】
一方、脚体３の支持脚期が過ぎ、該脚体３の支持脚期の終了直後の前記大気吸入期間においては、大気側電磁比例弁７１が全開状態に保持されると共に、エア室側電磁比例弁７０が引き続き全閉状態に保持される。このため、袋状部材１９の膨張状態への復元力により該袋状部材１９が膨張しつつ、大気中の空気が袋状部材１９内に流入する。そして、前記大気吸入期間が過ぎて該袋状部材１９がある程度膨張すると、次に、前記昇圧期間において、大気側電磁比例弁７１が全閉状態に保持されると共に、エア室側電磁比例弁７０が全開状態に保持される。このため、エア室６９内の高圧の空気が袋状部材１９内に流入し、該袋状部材１９内の圧力が大気圧よりも高圧になる。この結果、袋状部材１９内の空気には、前記第８実施形態のものと同様に、予圧が与えられることとなる。尚、昇圧期間の終了後（遊脚側の脚体３が再び着床する少し前）には、大気側電磁比例弁７１が全閉状態に保持されると共に、エア室側電磁比例弁７０が半開状態に保持され、次の着床動作に備えられる。この状態では、エア室６９内の圧力と袋状部材１９内に圧力とは基本的には同等になる。

【０１０４】
上述のように、本実施形態では、脚体３の着床前に前記第８実施形態と同様に袋状部材１９内の空気に予圧が与えられるため、該第８実施形態と同様の作用効果を奏する。そして、この場合、特に本実施形態では、空圧源を必要としないため、着床衝撃緩衝装置１８の構成が簡単になると共に、着床衝撃緩衝装置１８を含めたロボットのエネルギー消費を少なくできる。また、エア室側電磁比例弁７０が半開状態であるときに、エア室６９と袋状部材１９との間で流出抵抗を伴って空気が流れることにより生じる熱は、大気側電磁比例弁７１を半開状態もしくは全開状態としたときに、大気側に放出されるので、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８に熱が継続的に蓄積されることがない。この結果、放熱器を別途備えたりする必要がなく、これによっても、着床衝撃緩衝装置１８の構成を簡略化できる。

【０１０５】
尚、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、膨張状態の袋状部材１９に予圧を与えるために、前記第９実形態や第１０実施形態で説明したような予圧付与機構を採用してもよい。

【０１０６】
また、前記第１１実施形態では、袋状部材１９の内部を大気側に連通させるための流体管路６８及び大気側電磁比例弁７１を備えたが、これらを除去して、エア室６９と袋状部材１９との間でのみ空気を授受するようにすることも可能である。この場合には、例えば、エア室側電磁比例弁７０を半開状態に維持しておく。これにより、袋状部材１９の膨張状態では、前記第８実施形態や第９実施形態と同様に袋状部材１９内の圧力が高圧になって、その内部の空気に予圧が付与される。従って、着床衝撃の軽減に関して前記第８実施形態や第９実施形態と同様の効果が得られる。但し、空気は、エア室６９及び袋状部材１９の内部に密封されるため、両者間で空気が流れるときの流体抵抗に伴う発熱が蓄積しやす

い。従って、放熱器等を別途備えることが好ましい。

【０１０７】

次に、本発明の第１２実施形態を図１８を参照して説明する。図１８は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の側面示の断面図である。尚、本実施形態は、前記第１及び第２実施形態のものと、足平機構の一部の構成と着床衝撃緩衝装置の一部の構成のみが相違するものであるので、前記第１及び第２実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、該第１及び第２実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。

【０１０８】

本実施形態では、足平機構６の上面部には、前記第１及び第２実施形態のものと同様に断面方形状の筒部材１３が固設されており、筒部材１３内に、前記第２実施形態の袋状部材と同様に上方に開口した樽形の袋状部材１９（可変容積体）が収容されている。この場合、袋状部材１９の底面部は、筒部材１３内で足平プレート部材１２に固着されている。また、筒部材１３内には、袋状部材１９の上側で、有底の可動筒部材７３が収容され、この可動筒部材７３は、筒部材１３の内周面に沿って上下動自在に設けられている。そして、該可動筒部材７３の底部に前記袋状部材１９の開口端部が固設されている。従って、可動筒部材７３は、袋状部材１９を介して足平プレート部材１２に連結されている。さらに、可動筒部材７３の底部には、本実施形態における流入・流出手段としての流通路（流通孔）７４が袋状部材１９の内部に連通して穿設されている。この流通路７４は絞り通路となっており、前記袋状部材１９と併せて本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８を構成するものである。

【０１０９】

また、可動筒部材７３の内部には、その内周面に沿ってほぼ上下方向に可動な可動プレート７５が収容され、この可動プレート７５は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材からなる複数の弾性部材７６（図ではばねとして記載している）を介して可動筒部材７３の上面部に連結されている。そして、この可動プレート７５の上面部に６軸力センサ１５を介して脚体３の足首関節９が連結されている。

【０１１０】

尚、可動筒部材７３の内部の空間（可動プレート７５との間の空間）は、図示しない穴や隙間を介して大気側に開放されている。従って、袋状部材１９の内部は、流通路７４を介して大気側に連通しており、該袋状部材１８が図示のように膨張した状態では、該袋状部材１８の内部に大気圧の空気が充填されている。また、本実施形態では、袋状部材１９は、脚体３の離床状態において、足平プレート部材１２等の重量により袋状部材１９が伸びて可動筒部材７３が筒部材１３から抜け落ちることがないように、図示の膨張状態（自然状態）以上には伸び難い弾性材により構成されている。もしくは、構造的に可動筒部材７３が筒部材１３から抜け落ちないようになっている。以上説明した以外の構成（前記制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第１及び第２実施形態のものと同一である。

【０１１１】

上述のように構成された本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、脚体３の着床動作の際に、該脚体３の足平機構６が接地部材１７を介して接地すると、袋状部材１９が圧縮されつつ、該袋状部材１９内の空気が流通路７４を介して流出する。このとき、流通路７４は絞り通路であるので、流出抵抗を生じる。このような本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８の作動により、脚体３の着床動作の際の着床衝撃が前記第１及び第２実施形態のものと同様に軽減される。また、脚体３の離床状態では、袋状部材１９がその弾性力により、元の膨張状態に復元し、このとき、大気中の空気が流通路７４を介して袋状部材１９内に流入する。

【０１１２】

尚、本実施形態では、可変容積体として袋状部材１９を備えたが、例えば、前記筒部材１３を円筒状（シリンダチューブ状）に形成すると共に、可動筒部材７３をピストン状に形成し、筒部材１３内における可動筒部材７３の下側の空間の可変容積体として構成するようにすることも可能である。

【０１１３】
次に、本発明の第１３実施形態を図１９を参照して説明する。図１９は本実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の側面示の断面図である。尚、本実施形態は、前記第1及び第2実施形態のものと、着床衝撃緩衝装置を含めた足平機構の一部の構成のみが相違するものであるので、図１９では、足平機構の要部構成のみを記載している。また、本実施形態の説明では、前記第1及び第2実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については、該第1及び第2実施形態と同一の参照符号を用い、説明を省略する。
【０１１４】
図１９に示すように、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、足平機構6の足平プレート部材１２の底面には、それをほぼ全面にわたって覆うようにして可変容積体としての袋状部材7７が取着されている。この袋状部材7７は、前記第1及び第2実施形態のものと同様にゴム等の弾性材により上方に開口した有底容器状に形成され、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材１２の下面部の周縁部に固着されている。そして、この袋状部材7７の底面部の四隅（袋状部材7７の前部寄りの箇所の両側部と、後部寄りの箇所の両側部）には、前記第1及び第2実施形態のものの接地部材１７の硬質層１７ｂに相当する接地部7８が袋状部材7７と一体に設けられている。尚、接地部7８は袋状部材7７と別体でもよい。
【０１１５】
また、袋状部材7７の内部には、スポンジ7９（より一般的に言えば軟質の弾性多孔質体）が該袋状部材7７の内部のほぼ全領域にわたって収容されている。さらに、袋状部材7７の内部は、前記第1及び第2実施形態のものと同様に、流体・流出手段として足平プレート部材１２に穿設された流通路２０を介して大気側に連通されている。尚、本実施形態では、足平接地プレート１２には、前記第1及び第2実施形態で備えた接地部材１７は備えられていない。以上説明した以外の構成（制御装置１０の制御処理を含む）は、前記第1及び第2実施形態のものと同一である。
【０１１６】
かかる本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、脚体3の着床動作の際に袋状部材7７が、その内部の空気及びスポンジ7９と共に圧縮される。そして、袋状部材7７から空気が流通路２０を介して大気側に流出し、この時、該空気の流出抵抗が発生する。従って、着床衝撃に軽減に関する基本的作用効果は、前記第1及び第2実施形態のものと同一である。
【０１１７】
一方、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８では、袋状部材7７内にスポンジ7９が収容されているため、次のような効果がある。すなわち、袋状部材7７がスポンジ7９と共に圧縮されると、袋状部材7７だけでなくスポンジ7９も形状復元力を有するため、脚体3の離床によって、袋状部材7７が速やかに自然状態に膨張する。また、スポンジ7９が袋状部材7７内に充填されていることで、袋状部材7７の圧縮時に、該袋状部材7７の一部が過剰に大きな曲率となることが避けられる。その結果、袋状部材7７が圧縮により破損してしまうような事態を防止できる。さらに、袋状部材7７の圧縮時に、スポンジ7９の孔内の空気が該スポンジ7９から流出するときに、流出抵抗が発生するため、本実施形態の着床衝撃緩衝装置１８のダンピング効果を高めることができる。さらに、袋状部材7７の圧縮時に該袋状部材7７内の空気が前記流通路２０を介して流出するときに発生する音がスポンジ7９によりある程度吸収されるため、消音効果を得ることができる。
【０１１８】
尚、本実施形態では、袋状部材7７の内部のほぼ全領域にわたってスポンジ7９を収容するようにしたが、袋状部材7７の内部の複数の領域（例えば、袋状部材7７の四隅）に分散させてスポンジを袋状部材7７に充填するようにしてもよい。また、前記第1～第１２実施形態でそれぞれ備えた袋状部材１９の内部に、第１３実施形態と同様にスポンジを収容するようにしてもよい。
【０１１９】

以上説明した各実施形態では、単一の袋状部材１９，７７を足平機構6 に備えるようにしたが、複数の袋状部材を備えるようにしてもよい。例えば、図２０（ａ）～（ｄ）に示すように、足平機構の足平プレート部材１２の底面側の複数箇所に前記第1 及び第2 実施形態における袋状部材1９と同じような形状の袋状部材８０を備えるようにしてもよい（第１４実施形態）。これらの各図２０（ａ）～（ｄ）は、足平プレート１２の底面側から見た模式的な平面図である。尚、この場合、各袋状部材８０に対して空気を流入・流出させる流入・流出手段は、例えば各袋状部材1９の内部にそれぞれ連通して足平プレート部材１２に穿設される複数の流通孔（前記第1 及び第2 実施形態における流通路2０に相当するもの）により構成すればよい。このように複数の袋状部材を複数備えたときには、脚体の着床動作の際に足平機構と床面と姿勢関係によって、複数の袋状部材８０のうちの一部の袋状部材８０が圧縮された場合には、足平機構には、水平方向の軸回りのモーメントが発生する。このため、前述したコンプラインアンス動作制御による足平機構の姿勢制御が、前記複数の袋状部材８０のいずれかの接地直後から機能し、該コンプラインス動作制御の効果が高まる。

【０１２０】

尚、上述のように複数の袋状部材８０を備えた場合において、それらの袋状部材８０を相互に、あるいは該袋状部材８０のうちのいくつかの袋状部材８０同士を、絞り等を有する流通路を介して連通させるようにしてもよい。また、複数の袋状部材は、例えば、前記第１３実施形態のような形状の袋状部材の内部を隔壁により分割して構成するようにしてもよい。

【０１２１】

また、以上説明した各実施形態において備えた袋状部材に空気を流入させるための通路（例えば第5 ～第１１実施形態における流体管路３４，４１，４６，５３，６８）の一部を、各脚体3 の内部の空間（各関節7 ～9 の内部を含む）や、上体2 の内部の空間により構成するようにしてもよい。このようにすると、各脚体3 や上体2 の内部のアクチュエータや電子回路を、袋状部材内に流入する空気により冷却することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施形態における脚式移動ロボットの基本構成を示す側面図。

【図２】本発明の第1 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の側面示の断面図。

【図３】図2 の足平機構の底面側から見た平面図。

【図４】図1 の脚式移動ロボットの動作制御の処理を示すフローチャート。

【図５】図2 の足平機構の着床衝撃緩衝装置の作動を説明するための説明図。

【図６】本発明の第2 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の側面示の断面図。

【図７】本発明の第3 実施形態の着床衝撃緩衝装置の流入・流出手段の構成を示す断面図。

【図８】本発明の第4 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図９】本発明の第5 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１０】本発明の第6 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１１】本発明の第7 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１２】本発明の第8 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１３】第8 実施形態の着床衝撃緩衝装置の作動を説明するための線図。

【図１４】本発明の第9 実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１５】本発明の第１０実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

【図１６】本発明の第１１実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の模式図。

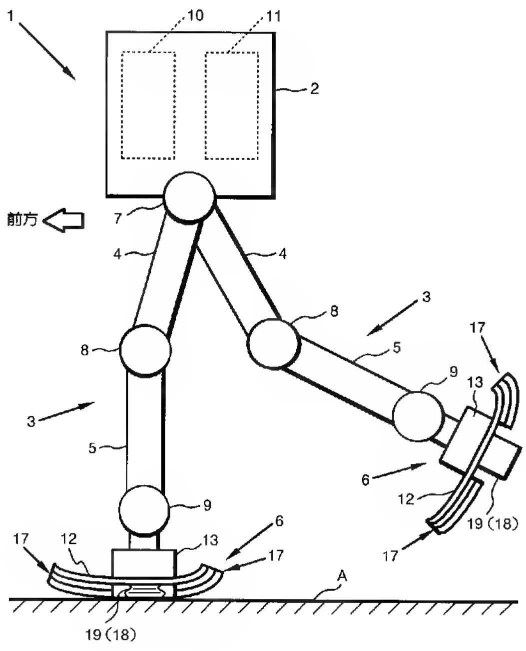
【図１７】第１１実施形態の着床衝撃緩衝装置の流入・流出手段の制御処理を示すフローチャート。

【図１８】本発明の第１２実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の側面示の断面図。

【図１９】本発明の第１３実施形態の着床衝撃緩衝装置を備えた足平機構の要部の側面示の断面図。
【図２０】本発明の第１４実施形態の着床衝撃緩衝装置の袋状部材の配置構成を示す平面図。
【符号の説明】
１…脚式移動ロボット(二足移動ロボット)、３…脚体、６…足平機構、１８…着床衝撃緩衝装置、１９，７７，８０…袋状部材(可変容積体)、２０，７４…流通路(流入・流出手段)、２３，２６，３２，３９，４４，５１，６６…流入・流出手段、７９…スポンジ(多孔質体)。

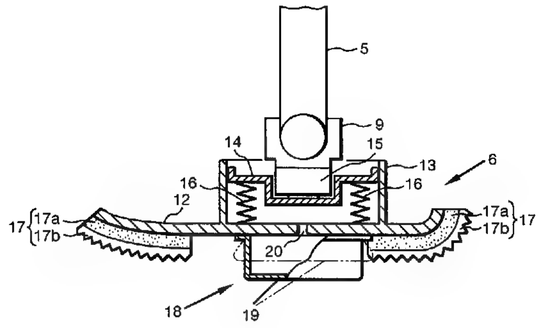
【図１】

FIG. 1



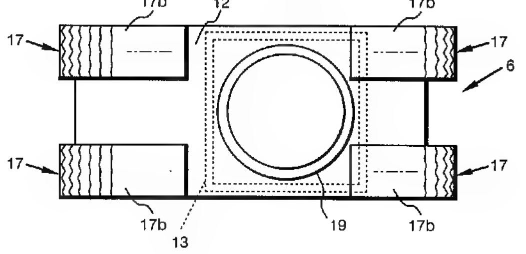
【図２】

FIG. 2



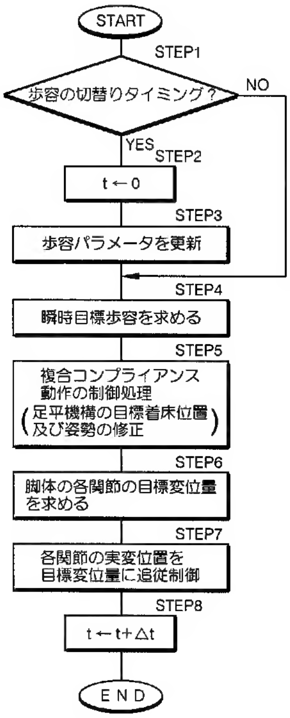
【図３】

FIG. 3



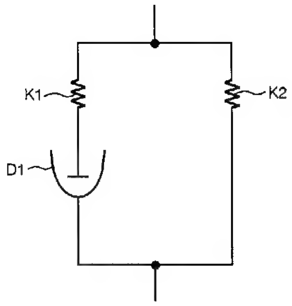
【図4】

FIG. 4



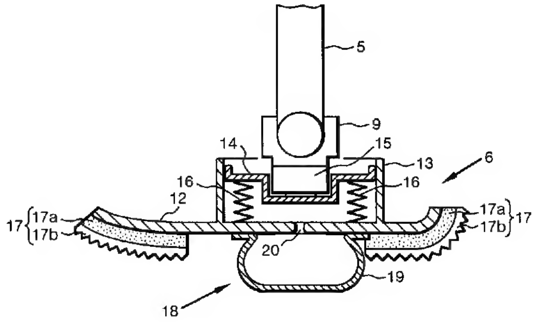
【図5】

FIG. 5



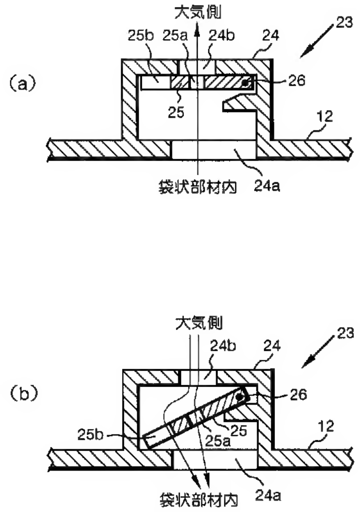
【図6】

FIG. 6



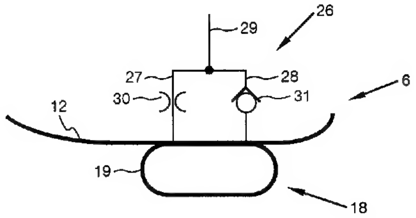
【図7】

FIG. 7



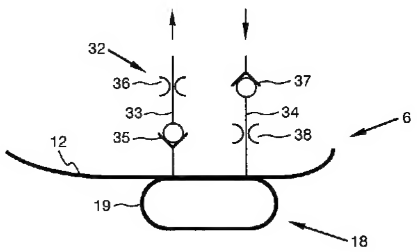
【図8】

FIG. 8



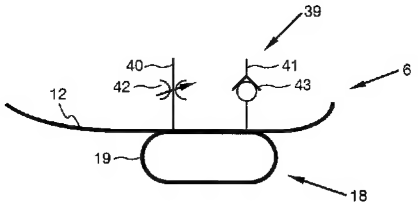
【図9】

FIG. 9



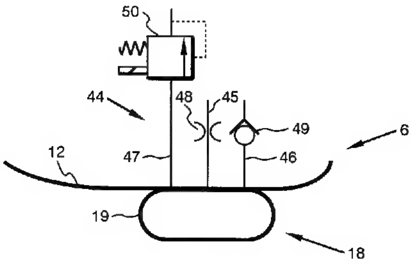
【図１０】

FIG. 10



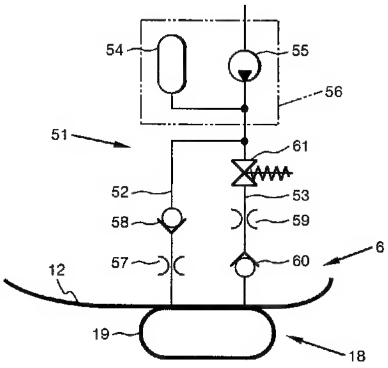
【図１１】

FIG. 11



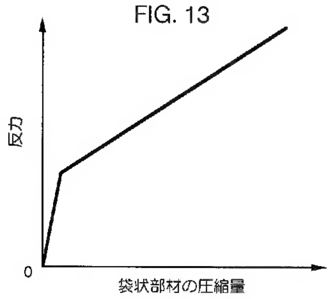
【図１２】

FIG. 12



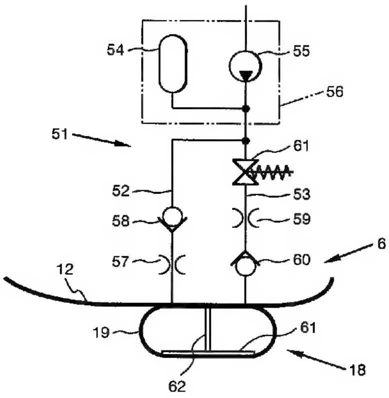
【図１３】

FIG. 13



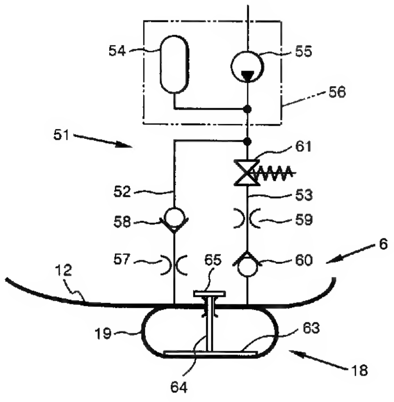
【図１４】

FIG. 14



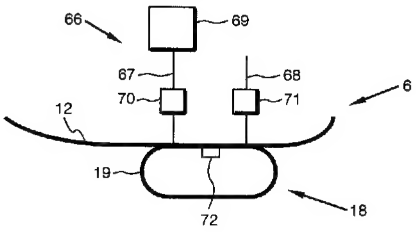
【図１５】

FIG. 15



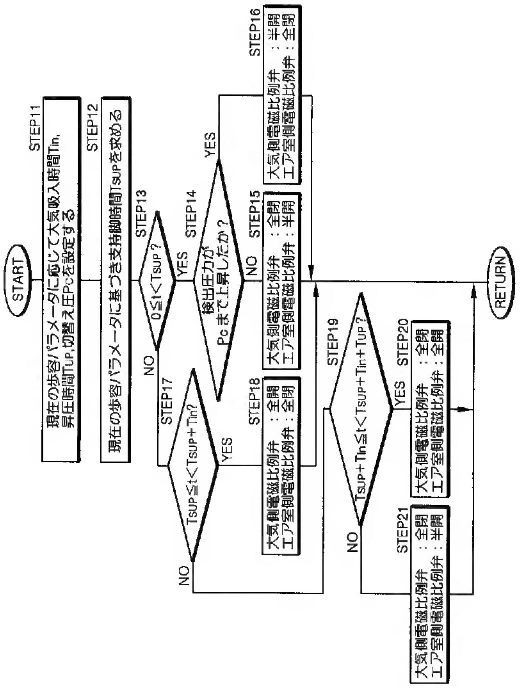
【図１６】

FIG. 16



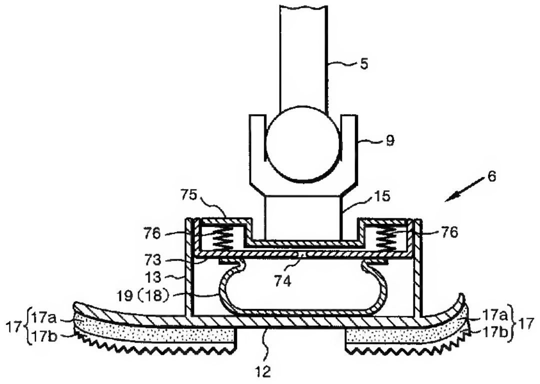
【図１７】

FIG. 17



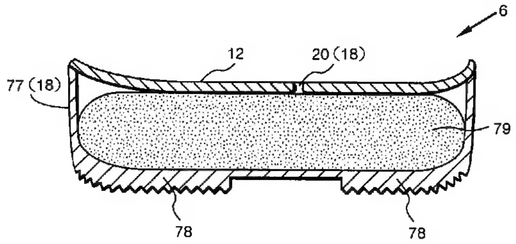
【図１８】

FIG. 18



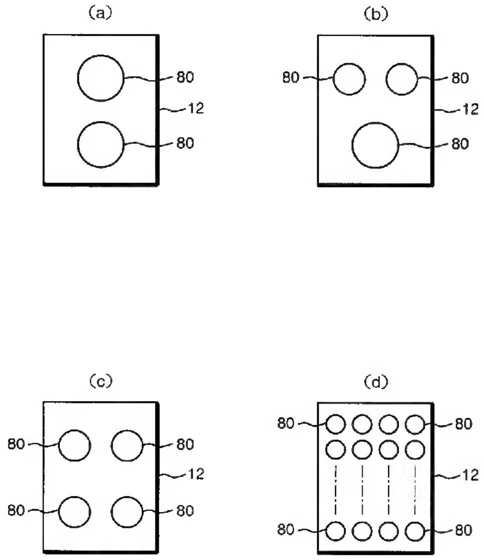
【図１９】

FIG. 19



【図２０】

FIG. 20



フロントページの続き

(72)発明者　浜谷　一司
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　竹村　佳也
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　松本　隆志
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　吉池　孝英
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　西村　要一
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　秋元　一志
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　横山　太郎
埼玉県和光市中央1丁目4番1号　株式会社本田技術研究所内

審査官　八木　誠

(56)参考文献　特開平11－320461（JP，A）
特開平5－293776（JP，A）
特開平9－303462（JP，A）
実開平5－83485（JP，U）
特開平4－159158（JP，A）
特開平6－39755（JP，A）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，DB名)
B25J 1/00-21/02